



**Kandidatarbeten
i skogsvetenskap**
Fakulteten för skogsvetenskap

2012:9

**Kostnader vid gallring med flerträdshanterande
aggregat, från skog till industri**

*Logging costs in thinning with multi-tree handling harvester head, from
stand to industry*

Adam Burström och Kristoffer Johansson



Sveriges
lantbruksuniversitet

Kostnader vid gallring med flerträdshanterande aggregat, från skog till industri

*Logging costs in thinning with multi-tree handling
harvester head, from stand to industry*

Adam Burström & Kristoffer Johansson

Självständigt arbete 15 högskolepoäng

2012

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Umeå

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet	Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Författare	Adam Burström & Kristoffer Johansson
Titel, Sv	Kostnader vid gallring med flerträdshanterande aggregat, från skog till industri
Titel, Eng	Logging costs in thinning with multi-tree handling harvester head, from stand to industry
Nyckelord	massaved, flerträdshantering, produktivitet, transportkostnad, drivningskostnad, systemanalys.
Handledare	Dan Bergström, Institutionen för skoglig resurshushållning
Examinator	Tommy Mörling, Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kurstitel	Kandidatarbete i skogsvetenskap
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2012

Sammanfattning

I dagens förstagallringar är det svårt att få lönsamhet p.g.a. rådande massavedspriser och höga kostnader vid drivning och vägtransport. För att minska kostnaderna förespråkas ökad produktivitet. Ett sätt att öka produktiviteten är användandet av flerträdshanterande skördaraggregat. Syftet med detta arbete har varit att beräkna drivnings- och vägtransportkostnader i förstagallringar där flerträdshantering använts. Frågeställningar som t.ex. hur skördarens produktivitet påverkas av skördad medelstam och andelen flerträdshanterade träd, avsågs att besvaras.

Genom maskinkostnadskalkyler och produktivitetsberäkningar kunde vi undersöka påverkande faktorer på produktivitet och vägtransport. Kostnader beräknades därefter för respektive maskin samtidigt som längsta lönsamma vägtransportavstånd undersöktes. Regressionsanalyser utfördes för de beräkningar där grunden utgjordes av beståndsdata.

Resultaten visar att skördarens produktivitet är starkt påverkad av uttagsmedelstammens volym. Flerträdshantering kan påverka produktiviteten positivt, men beror av teknikens lämplighet för skördad medelstamvolym. Skotarens produktivitet påverkas i stor grad av skotningsavstånd och i mindre omfattning av medelstamsvolym. Transportkostnaden från avlägg till industri påverkas främst av avståndet, och har en stor påverkan på totalkostnaden vid en förstagallring. Vid ett massavedspris på 330 kr/m³ (fast under bark) är längsta lönsamma vägtransportavstånd 27,5 mil för studiens medelobjekt. Massavedspriset har stor inverkan på avståndet där en 20 % sänkning av priset kan halvera lönsamt transportavstånd. Genom en uppdelning av kostnaderna i terminaltid och körtid kan de olika kostnadsposterna jämföras i kr/m³fub. Detta visar att vägtransportkostnaden kan bli betydande vid längre vägtransportavstånd, dock är skördaren generellt den tyngsta kostnadsposten vid förstagallring. Genom ökad flerträdshantering kan skördarens produktivitet öka och därmed möjliggöra ett bättre gallringsnetto.

Nyckelord: massaved, flerträdshantering, produktivitet, transportkostnad, drivningskostnad, systemanalys.

Summary

Profit in first commercial thinnings of today is hard to achieve. This is because of prevailing pulpwood prices and because of high costs of logging and transport. To reduce these costs higher productivity is advocated. One way to increase the productivity is the use of multi-tree handling harvester heads. The aim of this study was to calculate logging and transport costs in first thinnings, where multi-tree handling has been used. Some specific questions were addressed, e.g. how the harvester's productivity is affected by harvested mean stem volume and proportion of multi-tree handled trees.

We studied factors that affect productivity and road transport by means of machine cost calculations and productivity calculations. Costs for each machine were then calculated and the longest profitable transport distance was determined. Regression analyses were accomplished where the calculations were based on data from objects.

The results show that harvester's productivity is strongly affected by the harvested mean stem volume. Multi-tree handling can have a positive impact on productivity, but this is depending on the suitability of the technology used for specific tree sizes. The forwarder's productivity is greatly affected by the hauling distance, and to some extent also by the mean stem volume. Transport costs from landing to industry are impacted by transport distance, which has a big effect on total cost in first thinnings. At a pulpwood price of 330 SEK/m³ (solid under bark), the longest profitable transport distance is 275 km for the study's mean object. The pulpwood price has a large impact on the transport distance, where a price reduction of 20 % may reduce the transport distance by half. By dividing the costs in terminal and transport time, the different cost items can be compared. This shows that road transport cost may be significant with longer transport distance. Despite this, the most expensive cost item in first thinnings is generally the harvester. Its productivity can be increased through higher proportion of multi-tree handling and by so making the thinning more profitable.

Keywords: pulpwood, multi-tree handling, productivity, transport cost, logging cost, system analysis.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning.....	5
Skötsel av ungskog	5
Konfliktbestånd	5
Drivningens produktivitet och kostnader vid gallring	5
Flerträdshantering	6
Flerträdshanteringens påverkan på massavedens kvalitet	6
Gallring och flerträdshantering hos Sveaskog.....	7
Syfte.....	8
Material och metoder	9
Studieupplägg	9
Bestånd	9
Maskiner	10
Avverkningsmetoder	11
Drivningsdata.....	11
Vägtransportsystem	12
Maskinkostnadskalkyler	12
Analyser och statistik.....	13
Resultat.....	14
Skördare.....	14
Skotare	17
Drivningskostnad.....	18
Vägtransport	19
Diskussion	21
Slutsatser.....	24
Tillkännagivanden	24
Referenser.....	25
Bilagor.....	28
Bilaga 1	28
Bilaga 2.....	29
Bilaga 3.....	30
Bilaga 4.....	31

Inledning

Skötsel av ungskog

I dagens skogsbruk är skogsskötseln baserad på plantering följt av röjning, gallring och föryngringsavverkning innan cykeln sluts igen. Röjning definieras som: ”beståndsvårdande utglesning av plant- och ungskog utan att gagnvirket tas tillvara” (Anon., 1994). Syftet med röjning är bl.a. att öka dimensionstillväxten på potentiella huvudstammar genom minskad konkurrens. Den dominerande röjningstekniken i Sverige är motormanuell röjning med röjsåg. Under 70- och 80-talet gjordes flera försök att mekanisera röjningen, men de utvecklade maskinerna visade sig orsaka skador på en stor andel av kvarvarande stammar. Detta tillsammans med höga drivningskostnader medförde att mekaniseringen inte fullföljdes (Pettersson et al., 2007). År 2010 uppgick den röjda arealen i Sverige till 309 000 hektar (ha) (Anon., 2011a).

En förstagallring sker vanligtvis när övre höjden i beståndet är mellan 10 och 15 meter (Agestam, 2009). Gallring definieras som: ”beståndsvårdande utglesning av skog under tillvaratagande av virke” (Anon., 1994). Gallring främjar diametertillväxt på kvarstående träd och minskar risken för självgallring. Förstagallringen ger ofta ett ekonomiskt netto då högproduktiva maskiner används, och ökar samtidigt beståndets värde vid slutavverkning. Förstagallringens tidpunkt kan variera, där en tidig gallring ger relativt låga intäkter och därmed ett sämre netto medan en senare gallring ger relativt höga intäkter och bättre netto (Agestam, 2009). År 2010 uppgick den gallrade arealen i Sverige till 433 000 ha (Anon., 2011a).

Konfliktbestånd

Röjning har under 1900-talet varit starkt påverkad av skogspolitisk lagstiftning. 1979 års skogsvårdslag innefattade en röjningsplikt eftersom det fanns en stor areal orörd ungskog. Vid införandet av 1994 års skogsvårdslag avskaffades röjningsplikten varpå den oröjda arealen växte igen (Pettersson et al., 2007). Sedan mitten av 80-talet fram till millennieskiftet minskade den årligt röjda arealen från 250 000 ha till 150 000 ha. Samtidigt har de utförda röjningarna gjorts med allt lägre röjningsstyrka vilket sammantaget lett till tätare ungskogar (Kempe, 2002). Detta har medfört att begreppet konfliktbestånd har uppkommit, vilket syftar till bestånd med för svag eller utebliven ungskogsröjning varpå nästa skötselåtgärd som är lämplig blir svårbedömd. Dessa bestånd är ofta stamtäta med stor variation m.a.p. diameter, höjd och trädslagsblandning. Detta medför att en tidig förstagallring ger ett lågt netto, eller att en sen röjning blir mycket kostsam (Olsson, 2004).

Drivningens produktivitet och kostnader vid gallring

Vid gallring används vanligtvis engreppsskördare som faller, kvistar och apterar ett träd åt gången. I konfliktbestånd med ett högt stamtantal och låg medeldiameter blir därför produktiviteten låg vilket medför högre drivningskostnad. Ett sätt att öka produktiviteten kan vara användandet av ackumulerande skördaraggregat där mer än ett träd hanteras per krancykel, vanligen benämnt som flerträdshantering (Egnell, 2009). Flera andra metoder har

också använts för att minska drivningskostnaden. Ett enkelt sätt är att öka produktiviteten genom att gallra i korridorer mellan stickvägarna istället för att utföra ett selektivt urval av träd (Bergström et al., 2010). Man kan också använda mindre maskiner som har lägre fasta kostnader och kan vara lika produktiva i klena gallringar som större maskiner, vilket totalt sett ger lägre timkostnader (Belbo, 2011). En studie av Kärhä et al. (2004) visar att en mindre skördare kan ha samma produktivitet som en medelstor skördare vid en medelstam mindre än 0,4 m³. En studie av Brunberg och Lundström (2010) visar att en liten gallringsskördare ger lägre avverkningskostnad om medelstammen är mindre än 0,09 m³ fast under bark (fub).

Flerträdshantering

Forskning och utveckling på flerträdshantering i Sverige har pågått ända sedan 70-talet. Då studerade man främst olika typer av flerträdshanterande kvistningsmaskiner (Brunberg et al., 1990). Studier från 80-talet visade bl.a. att flerträdshantering med engreppsskördare kan öka produktiviteten med upp till 37 % (Brunberg et al., 1989). Sedan 90-talets början har engreppsskördaren varit den dominerande tekniken i förstagallringar och därför har också forskningen styrts mot ackumulering på dessa aggregat (Brunberg et al., 1990). Moderna studier av tekniken i olika typer av gallring visar på produktivitetshöjningar på 18 respektive 21-33 % (Bergkvist, 2003; Gingras, 2004). Försök visar även att flerträdshantering kan höja produktiviteten vid slutavverkning med upp till 16 % (Brunberg & Lundström, 2011).

Vissa av de flerträdshanterande aggregaten som används idag är endast avsedda för fällning och lämpar sig för uttag av hela träd, men det finns också aggregattyper tänkta för uttag av såväl biobränsle som massaved (Jansson, 2011). De tre vanligaste aggregattyperna är ackumulerande fällaggregat med klipp eller med sågklinga samt skördaraggregat (vanligtvis engreppsaggregat med ackumuleringstillsats) med sågsvärd och matarhjul. En jämförande studie av de tre aggregattyperna i en tät tallskog visar att aggregatet med sågsvärd kan hantera avsevärt fler träd per timme jämfört med de båda andra. Matarhjul ger kortare upparbetningstid vid aptering, och en hög ackumuleringskapacitet medför att fler träd kan hanteras per krancykel (Iwarsson Wide, 2009). Tillsatsutrustningen som behövs för flerträdshanterande skördaraggregat är i princip två ackumuleringsarmar, bredare mätthjul och speciella flerträds-matarvalsar (Bergkvist, 2007). Idag erbjuder flertalet aggregatstillverkare denna tillsatsutrustning som ett tillval vilket kostar omkring 45 000 kronor (Andersson, 2012, pers. komm.).

Flerträdshanteringens påverkan på massavedens kvalitet

Under utvecklingen av flerträdshanterande skördaraggregat fann man snabbt att den största utmaningen var att uppnå acceptabel nivå på kvistningen för att möta industrins krav. Flerträdshanterad massaved ger högre kvistandel och många stammar med lägre toppdiameter än normen, vilket kan ge sämre flisegenskaper än konventionellt skördad massaved. Studier vid två skiljda massabruk visar dock att flerträdshanterad massaved med grov kvist barkas lika bra som vanlig massaved, men ger ett något sämre massaflisutbyte. Klenta toppdiametrar kan ge dock högre andel bräckage i barktrumman vilket leder till större andel oönskade flisfraktioner (Brunberg et al., 1990). En studie av Bergkvist (2003) visar att flerträdshanterad massaved har samma kvalitet som enträdshanterad vad gäller barkhalt, vedförlust och inoptimala flisfraktioner. Dock vrakades 6 % av den flerträdshanterade massaveden vid

kontrollmätning mot 3 % för enträdshanterad massaved. En studie av Bergkvist (2007) gav liknande resultat; flis från flerträdshanterad massaved höll samma kvalitet som normal flis samtidigt som processeringen vid renseriet flöt på utan märkbar försämring.

Gallring och flerträdshantering hos Sveaskog

Sveaskog är Sveriges största skogsägare och ett statlig ägt bolag med 720 heltidsanställda. Sveaskog ska vara en oberoende aktör inom svenskt skogsbruk och deras verksamhet innefattar försäljning av timmer, massaved och biobränsle samt jakt och naturupplevelser. Sveaskog äger ingen egen industri men är delägare i sågverksbolaget Setra. Sveaskog har ett skogsinnehav på 3,1 miljoner ha produktiv skogsmark. År 2011 röjde de 29 400 ha och 44 % av deras skogsmark har en ålder mellan 20 och 59 år – arealer som kan ha föreliggande gallringsbehov (Sveaskog, 2011).

Sveaskog har en överenskommelse med Smurfit Kappa kraftliner i Piteå om leverans av flerträdshanterad massaved där kvistning och toppdimensioner kan avvika något från de ursprungliga kraven. Sveaskog är intresserat av att ta reda på mer om produktionen av den flerträdshanterade massaveden, dels problem och möjligheter hos Kappa men även hur produktionen och lönsamheten påverkas av ackumulerande skördaraggregat. I området har även Sveaskog leveranser av timmersortimentet kubb till Norrfog i Glommerträsk. Kubb är ett klettimmersortiment av tall som specifikt utformats efter IKEAs produktkrav. Stockarna ska vara omkring 2,6 meter långa med en toppdiameter mellan 10 och 20 centimeter samt endast innehålla friskkvist (Jonsson, 2012, pers. komm.). Förstagallringar är därför passande för uttag av kubb, vilket gör att bestånd lämpliga för flerträdshantering på samma gång kan vara lämpliga för kubb. Kubb kan därmed påverka graden av flerträdshantering.

Sedan tidigare har det gjorts flera studier om flerträdshantering, dock har många av dessa fokuserat på uttag av biobränsle och då ofta hur olika typer av aggregat producerar. Flertalet studier har gjorts om produktivitet vid förstagallring, bl.a. av Di Fulvio et al. (2011) och Andersson (2011). Dessa studier undersöker dock enbart produktivitet och drivningskostnad till väggkant. När det gäller enbart flerträdshanterad massaved är studierna färre och få av dessa undersöker kostnaden till industri. Många frågeställningar om drivnings- och vägtransportkostnader från förstagallringar är obesvarade varför vi finner det lämpligt att undersöka detta närmare med hjälp av aktuell data från Sveaskog som ett praktiskt exempel.

Syfte

Syftet med arbetet är att beräkna kostnaden på drivningsarbetet för en skördare utrustad med ackumulerande skördaraggregat och en skotare i förstagallring samt beräkna vägtransportkostnaden av det utfallande sortimentet massaved. Följande frågeställningar avses att besvaras:

- Hur påverkas skördarens produktivitet av skördad medelstam och andelen flerträdshanterade träd?
- Hur påverkas skotarens produktivitet av skördad medelstam och transportavstånd?
- Hur påverkas totala drivningskostnaden av skördad medelstam?
- Hur påverkas vägtransportkostnaden av transportavstånd?
- Vad är längsta lönsamma avstånd vid givet massavedspris?
- Är uttaget av kubb högre i bestånd lämpliga för flerträdshantering?

Material och metoder

Studieupplägg

Arbetet inleddes med litteraturstudier om flerträdshantering, produktivitet i gallring och sortiment som är aktuella. Vi tog kontakt med Ulf Jonsson på Sveaskog för att fråga om eventuella data fanns tillgängliga från gallring med ackumulerande skördaraggregat. Vi erhöll data från 14 bestånd vilka vi analyserade för att besvara våra frågeställningar. För skördare och skotare beräknades timkostnader genom maskinkostnadskalkyler. Med hjälp av produktions- och litteraturdata beräknades produktiviteten för respektive maskin. Därefter kunde den totala drivningskostnaden beräknas. Vi använde även produktionsdata för att beräkna hur flerträdshantering påverkade produktiviteten. Transportkostnaden beräknades vid givna avstånd med hjälp av en maskinkostnadskalkyl. Underlag för kalkylerna har tagits från maskin- och lastbilstillverkare samt litteratur.

Bestånd

De 14 gallringsobjekten var belägna inom ca tre mils radie från Malå i norra Västerbotten. Beståndsdata innan åtgärd ses nedan i tabell 1. Objekt 7-14 utgjordes av lokala köp från privata markägare där viss data saknades. För alla objekt saknades data om övre höjd samt volym, varför vi beräknade dessa. Övre höjden togs fram via Skogsstyrelsens höjdutvecklingskurvor där höjden kunde beräknas med hjälp av ståndortsindex (SI) och brösthöjdsålder. När vi beräknat övre höjden kunde beståndets volym per ha beräknas med hjälp av grundyta och övre höjd. Formeln vi använde finns tillgänglig via Skogforsks verktyg Kunskap direkt (Skogforsk, 2012) och ser ut enligt följande:

$$\text{Volym (m}^3\text{fub/ha)} = \text{Övre höjd (m)} * \text{Grundyta (m}^2\text{/ha)} * 0,5$$

Tabell 1. Beståndsdata innan gallring**Table 1.** Data about the stands before thinning

Objekt	Areal (ha)	SI ***	Ålder (total)	Stam- antal (ha)	Grund- yta (m ² /ha)	Övre höjd (m)	Volym (m ³ fub/ha)	GYL**	Medelskotnings- avstånd (m)
1	4,1	T17	52	2192	26	12,0	156	1 2 1	700
2	31,1	T18	35	2233	20	10,0	100	2 2 1	700
3	17,8	T17	34	1730	22	9,8	108	3 2 1	340
4	18,2	T17	46	1550	22	11,0	121	2 1 1	700
5	15,9	T17	40	1800	20	10,2	102	2 2 2	510
6	1,1	T19	60	1532	22	15,0	165	2 1 1	100
7	10,0	*	*	*	*	*	*	*	1100
8	7,7	*	*	*	*	*	*	*	200
9	9,6	*	*	*	*	*	*	*	200
10	7,6	*	*	*	*	*	*	*	400
11	17,4	*	*	*	*	*	*	*	400
12	15,7	*	*	*	*	*	*	*	450
13	20,2	*	*	*	*	*	*	*	250
14	1,5	*	*	*	*	*	*	*	200

* Data saknas.

** Med GYL avses markens grundförhållanden (bärighet), ytstruktur och lutning. Klassificeringen sker från 1-5, där ett högre värde innebär svårare förhållanden (Anon., 2011b).

*** Ståndortsindex.

Maskiner

Maskinerna som användes i studien tillhörde ett av Sveaskogs egna maskinlag. Maskinerna var båda av fabrikatet Eco Log (Eco Log Sweden AB) där skördaren hade modellbeteckningen 560D och var utrustad med Log Max 5000D (Log Max AB) som skördaraggregat. Detta aggregat hade extrautrustats med ackumuleringsarmar för flerträdshantering. Som skotare användes modellen 574C. Beskrivning av maskinerna ses nedan i tabell 2 och tabell 3.

Tabell 2. Beskrivning av skördaren**Table 2.** Description of the harvester

Basmaskin			Aggregat		Ackumulerings- utrustning	
Fabrikat och modell	Massa (ton)	Räckvidd kran (m)	Fabrikat och modell	Massa (kg)	Max öppning (cm)	Massa (kg)
Eco Log 560D	18,6	10-11,5	Log Max 5000D	946	70	78

Tabell 3. Beskrivning av skotaren
Table 3. Description of the forwarder

Basmaskin				Kran och grip	
Fabrikat och modell	Massa (ton)	Lastarea (m ²)	Max tillåten last (ton)	Räckvidd kran (m)	Griparea (m ²)
Eco Log 574C	17,3	5	14	9,6	0,35

En ny skördare av märket Eco Log 560D kostar ca 3 500 000 kr och en skotare av modell Eco Log 574C kostar ca 2 500 000 kr (Andersson, 2012, pers. komm.). Priserna avser ungefärliga köpesbelopp för ett skogsbolag och fullt utrustade maskiner.

Avverkningsmetoder

Åtgärden på samtliga objekt i studien var gallring, dock är det något osäkert vilka av objekten som var förstagallring p.g.a. avsaknad av information om detta. Det bör påpekas att för några få objekt var åtgärden, på delar av beståndet, föryngringsavverkning. Dock är olika åtgärder inte skilda åt i SDC-datat. Den utförda gallringen vid de olika objekten var mestadels kvalitetsgallring men även låggallring gjordes. Vid alla objekt utom två var kubb ett utfallande sortiment.

Drivningsdata

För beräkning av skördarens produktivitet användes produktionsdata från nämnda maskinlag. Produktionsdatat innehöll tidsrapporteringsdata samt avverkningsdata från skördaren rapporterat till Skogsnäringsens IT-företag (SDC). Tidsrapporteringsdatat omfattade information om uttagen volym, avverkad medelstam, antal skördade stammar, antal maskintimmar på objektet samt produktivitet. Produktiviteten angavs i m³fub/G₅-timme. G₅-tid innebär grundtid där avbrott om max fem minuter får förekomma. Denna tid räknade vi om till den vanligare normen G₁₅-tid vilket är ”grundtid som inkluderar uppehåll kortare än 15 minuter per tillfälle” (Anon., 1994). För denna omvandling dividerades produktiviteten per G₅-timme med 55, varpå denna kvot multiplicerades med 45.

Data rapporterat till SDC gav information om avverkad medelstam, uttagen totalvolym i m³fub, antal uttagna stammar fördelat på trädslag samt uttagna sortiment. För de uttagna stammarna angavs också hur stor del av dessa som flerträdshanterats. För respektive trädslag och sortiment gavs information om totalt uttagen volym samt medelstamsvolym, båda i m³fub.

Då vi inte erhållit något produktionsdata för skotaren, användes skördarens produktionsdata för information om uttagen medelstam, uttagen volym per ha och antal sortiment. Från traktordirektiven togs uppgifter om medelskotningsavstånd samt ytstruktur och lutning för de sex objekt där detta fanns tillgängligt. För övriga objekt sattes värdet på ytstruktur till 2 och lutningens värde till 1, vilket grundades på medelvärdet från de sex objekten där uppgifter

fanns. Vid beräkning av produktiviteten använde vi Brunbergs produktionsnorm (2004) för skotare där terminaltid, körtid, sortimenttid samt tid för sortering beräknades (bilaga 3). Detta summerades sedan till G_{15} -tid (min) per m^3 fub. Slutligen räknade vi om detta till m^3 fub/ G_{15} -timme. Den totala drivningskostnaden per objekt summerades till drivningskostnaden för skördare respektive skotare.

Vägtransportsystem

Vid beräkningen av transportkostnad antog vi att transport till industri via lastbil var det enda realistiska alternativet. En kranbil med avställbar kran användes som underlag för studien eftersom detta lastbilssystem ofta är förekommande inom skogsbruket i norra Sverige. Vi använde en timmerbil av modell Volvo FH (Volvo Lastvagnar AB) med massan 11,2 ton utrustad med ett 6,6 tons släp och en 2,5 tons kran som kan ställas av efter lastning. Lastbilens högsta tillåtna last var 42,2 ton när kranen kopplats bort. Uppgifter om massa för respektive del togs från Gilles kalkylmodell (2010).

Maskinkostnadskalkyler

För beräkning av timkostnaden för skördare och skotare användes Nordfjells (2006) kalkylmodell för skogsmaskiner (bilaga 1). Timkostnaden dividerades med produktiviteten för att erhålla en drivningskostnad per m^3 fub och maskin. I kalkylen baserades bränslekostnaden per timme på studier av bränsleförbrukning hos medelstora skördare och skotare (Brunberg, 2006) samt en dieselnkostnad på 11 kr/liter. För övriga kostnader har vi utgått från ett räkneexempel av Nordfjell och justerat värdena till dagens prisnivå. Vid beräkning av laststorlek antog vi att sortimentet massaved har en densitet på 850 kg/m^3 fub. Detta antagande gällde även för lastbilens kostnadskalkyl. I tabell 4 ses de ingångsvärden som användes för kalkylerna.

Tabell 4. Kostnadsuppskattningar för skördare och skotare

Table 4. Assumptions of costs for harvester and forwarder

Kostnader	Skördare	Skotare
Investeringsbelopp (kr)	3 500 000	2 500 000
Restvärde (%)	20	20
Kalkylränta (%)	3	3
Ekonomisk livslängd (år)	6	7
Fast underhållskostnad (kr/år)	150 000	110 000
Drivmedel (kr/timme)	136	117
Förelön (kr/timme)	300	300
Systemtid (timmar/år)	2 500	2 500
Rörlig underhållskostnad (kr/timme)	35	30

Vi gjorde en kostnadskalkyl för en lastbil (bilaga 2) baserad på Fjeld och Dahlins kalkylmodell (2005). För beräkningen antogs att lastbilen körde tom från industri till avlägg. Priserna för respektive del samt livslängd lämnades av företaget Bil & Traktor Tunga Fordon i Piteå (Wikström, 2012, pers. komm.). Värdena vi utgick ifrån kan ses nedan i tabell 5.

Tabell 5. Kostnadsuppskattningar för timmerlastbil
Table 5. Assumptions of costs for forest truck

	Lastbil (3 axlar)	Släp (4 axlar)	Kran
Investeringsbelopp (kr)	1 800 000	650 000	675 000
Restvärde (%)	10	7	7
Kalkylränta (%)	3	3	3
Ekonomisk livslängd	1 000 000 (km)	2 000 000 (km)	5000 (lass)
Systemtid (timmar/år)	4 000	-	-
Drivmedel (kr/liter)	11	-	11
Fasta kostnader			
Räntekostnad (kr/år)*	29 700	10 433	10 834
Skatt och försäkring (kr/år)	90 000	-	-
Förelön (kr/år)	1 150 000	-	-
Administration (kr/år)	80 000	-	-
Summa fasta kostnader (kr/år)	1 349 700	10 433	10 834
Rörliga kostnader			
Drivmedel kostnad	4,95 kr/km	-	120 kr/lass
Rörlig underhållskostnad	1,60 kr/km	-	24 kr/lass
Avskrivning*	1,62 kr/km	0,30 kr/km	125,55 kr/lass
Summa rörliga kostnader	8,17 kr/km	0,30 kr/km	269,55 kr/lass

* För beräkning, se bilaga 2.

Analyser och statistik

Analyser utfördes av skördarens produktivitet som funktion av skördad medelstam samt grad av flerträdshantering. Korrelationstester mellan andelen flerträdshanterade träd och medelstam genomfördes. Analyser av skotarens produktivitet som funktion av medelstam och medelskotningsavstånd utfördes. Vid beräkning av dessa två variabler låstes övriga parametrar och endast medelstam och medelskotningsavstånd tilläts variera. Beräkningarna utfördes vid ett antagande om ett uttag på 50 m³fub/ha, ytstruktur 2, lutning 1 samt fyra sortiment. Vid varierande medelstam antogs ett medelskotningsavstånd på 500 m och vid varierande skotningsavstånd sattes medelstam till 0,10 m³fub.

För varje objekt summerades drivningskostnaden för skördare och skotare och angavs som funktion av uttagsmedelstam. Vägtransportkostnaden som funktion av transportavstånd beräknades. Den totala kostnaden summerades för att undersöka hur långt massaveden kan transporteras med lönsamhet. För detta användes Sveaskogs prislista för Västerbottens inland (2012), där ett pris sattes på 330 kr/m³fub. Slutligen analyserades om andelen uttagen kubb kunde förklaras av andelen flerträdshantering.

Vid beräkningarna användes Microsoft Excel. Samma program utnyttjades vid framtagandet av figurer och diagram. Linjär regressionsanalys användes i de fall produktionsdata låg till grund för beräkningarna (bilaga 4), och då användes statistikprogrammet Minitab samt Excels regressionsfunktion.

Resultat

Tabell 6 visar utfall från avverkning för varje objekt som använts vid beräkningar och jämförelser av skördarens produktivitet. Uttagsvolymen för objekt 13 ströks ur tabellen p.g.a. att skördardatat ej påvisar avverkad areal. Därför kunde detta objekt bara användas vid skördarens produktivitetsberäkning och inte vid skotarens beräkning.

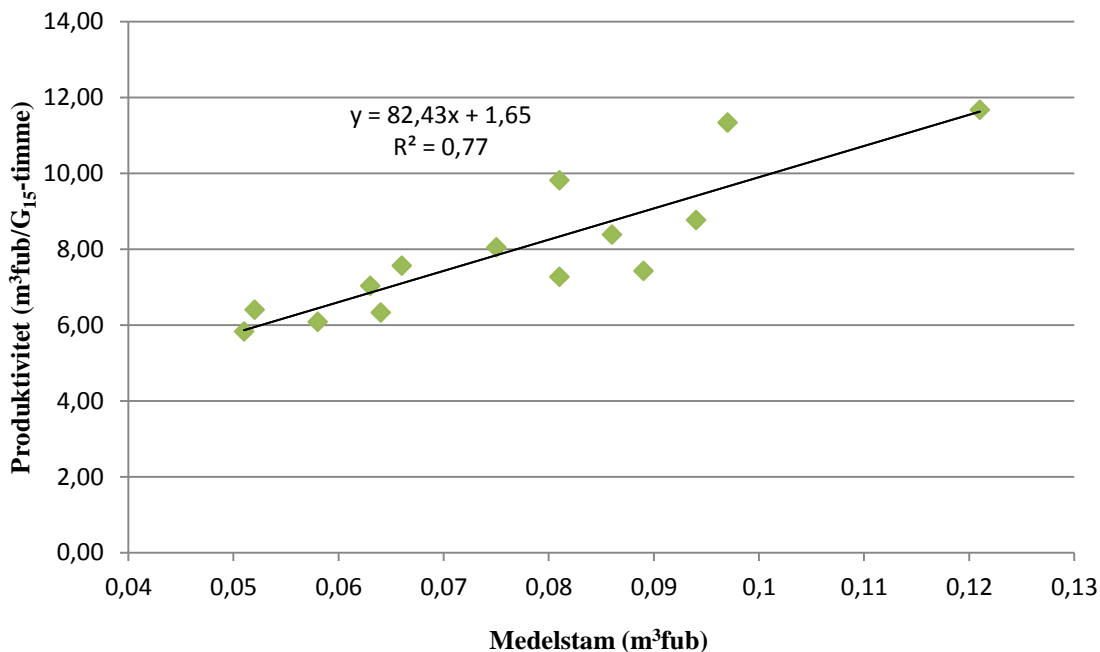
Tabell 6. Utfall från avverkning vid de olika objekten. Andel för flerträdshantering och kubb anges i värde mellan 0 och 1, där 1 innebär att samtliga träd flerträdshanterats alternativt att sortimentet kubb utgör hela uttagsvolymen

Table 6. Harvest output from the different stands. Proportion of multi-tree handling and "kubb" has a value between 0 and 1, where 1 denotes that all trees have been multi-tree handled or that all harvested volume have been made up by "kubb" (short logs, approximately 2,6 m)

Objekt	Uttag (m ³ fub/ha)	Medelstam uttag (m ³ fub)	Produktivitet skördare (m ³ fub/G ₁₅ - timme)	Antal sortiment	Andel flerträds- hantering	Andel kubb
1	57	0,07	7,6	5	0,30	0,22
2	44	0,05	6,4	4	0,49	0,10
3	45	0,08	8,1	5	0,17	0,24
4	27	0,05	5,8	5	0,38	0,23
5	41	0,06	6,1	2	0,36	0,18
6	41	0,06	7,0	4	0,16	0,07
7	40	0,09	7,4	6	0,22	0,09
8	75	0,10	11,3	6	0,26	0,07
9	34	0,06	6,3	6	0,24	0,03
10	45	0,09	8,8	6	0,12	0,04
11	44	0,08	7,3	6	0,15	0,08
12	23	0,09	8,4	5	0,05	-
13	-	0,08	9,8	6	0,33	0,09
14	73	0,12	11,7	5	0,08	-
Medel	45	0,08	8,00	5	0,23	0,12
Max	75	0,12	11,7	6	0,49	0,24
Min	23	0,05	5,8	2	0,05	0,03
Standard avvikelse	15,4	0,020	1,85	1,1	0,127	0,076

Skördare

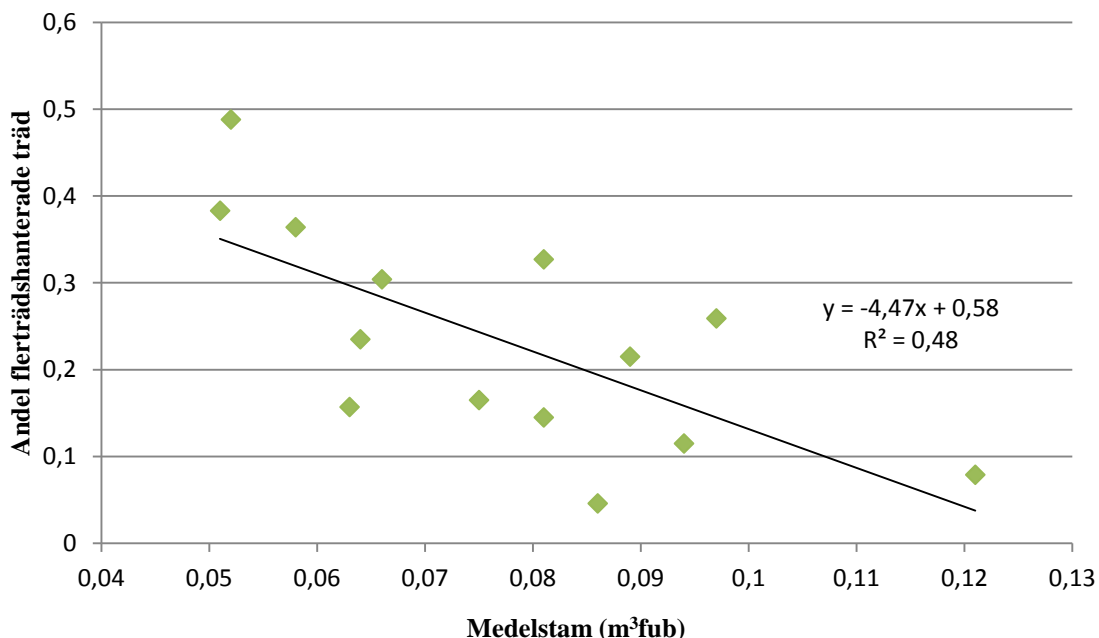
Figur 1 visar hur skördarens produktivitet ändras med skördad medelstam. Trenden är tydligt positiv, d.v.s. ökad medelstam ger generellt högre produktivitet. Förklaringsgraden (R^2) för regressionen är 77 % vilket tyder på ett starkt samband mellan dessa två parametrar. Det bör påpekas att produktiviteten vid en medelstam på 0,12 m³fub avviker från de övriga, och ger viss påverkan på regressionen. Regressionsmodellen visar att produktiviteten förklaras signifikant av medelstam genom ett P-värde på 0,000, (tabell 7 och figur 11 i bilaga 4).



Figur 1. Skördarens produktivitet som en funktion av skördad medelstam.

Figure 1. Productivity of the harvester as a function of harvested mean stem volume.

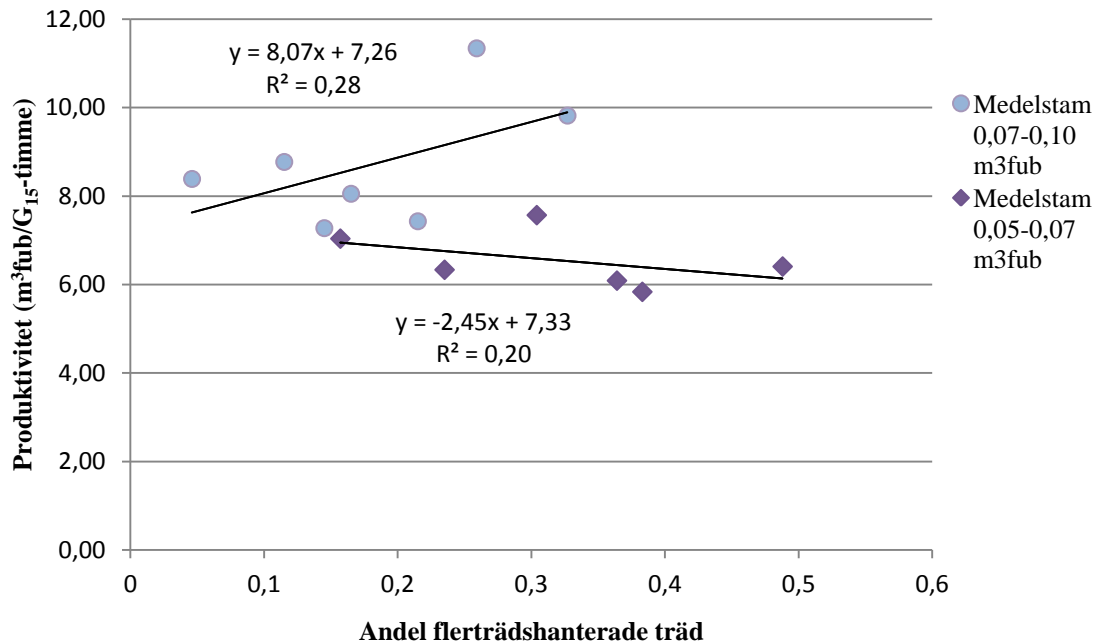
Figur 2 visar hur andelen flerträdshanterade träd varierar med skördad medelstam. R^2 -värdet har en förklaringsgrad på 48 % och ger en indikation på samband där ökad medelstam generellt ger lägre andel flerträdshantering. Även här ger produktiviteten med medelstam 0,12 m³fub viss påverkan på regressionen, dock är regressionsmodellen signifikant genom ett P-värde på 0,006, (tabell 8 och figur 12 i bilaga 4).



Figur 2. Andel flerträdshanterade träd av totalt antal skördade stammar, som en funktion av skördad medelstam.

Figure 2. Proportion multi-tree handled trees of the total amount harvested trees, as a function of harvested mean stem volume.

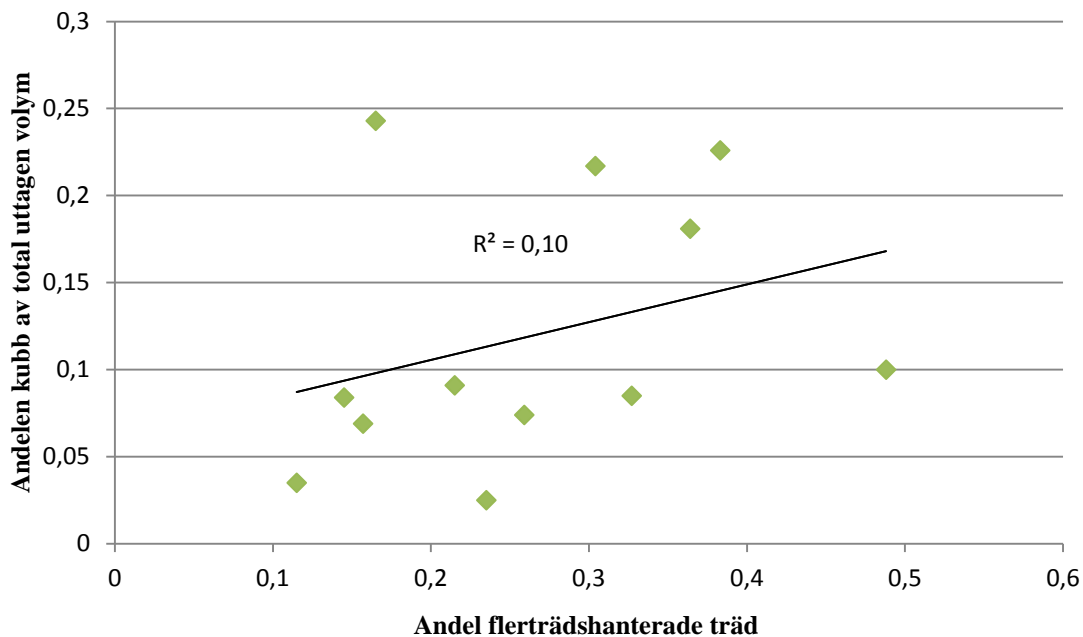
I figur 3 visas hur produktiviteten ändras med andel flerträdshanterade träd. Objekten har delats upp i två kategorier utifrån medelstam. För objekten med medelstam 0,05-0,07 m³fub finns en indikation om lägre produktivitet vid ökad flerträdshantering. I kategorin 0,07-0,10 m³fub kan däremot en svag positiv trend för produktiviteten antydast vid ökad andel flerträdshantering. R²-värdena för de två kategorierna är 20 % respektive 28 %, (tabell 9 och 10 i bilaga 4).



Figur 3. Skördarens produktivitet som en funktion av andelen flerträdshanterade träd vid olika storleksklasser på skördad medelstam.

Figure 3. Harvester's productivity as a function of the proportion of multi-tree handled trees at different harvested mean stem size classes.

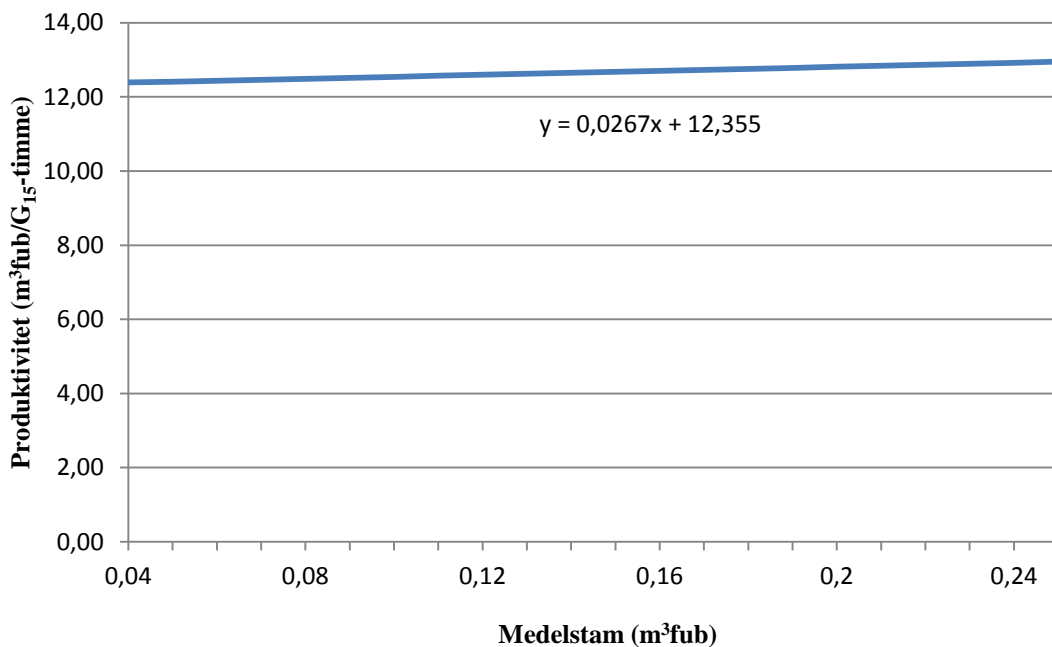
Figur 4 visar att det inte finns något tydligt samband mellan andelen uttag av sortimentet kubb och andelen flerträdshanterade träd. Det finns en mycket svag indikation på ett ökat uttag av kubb med ökad flerträdshantering. R²-värdet är dock lågt (10 %) och en stor spridning mellan observationerna kan ses. Vid två av objekten togs inte kubb ut som ett sortiment och eftersom vi inte vet orsaken till detta har dessa observationer exkluderats från analysen.



Figur 4. Påverkan av andel flerträdshanterade träd på andel uttagen kubb av total volym.
Figure 4. How the proportion of multi-tree handled stems effects the proportion of harvested "kubb".

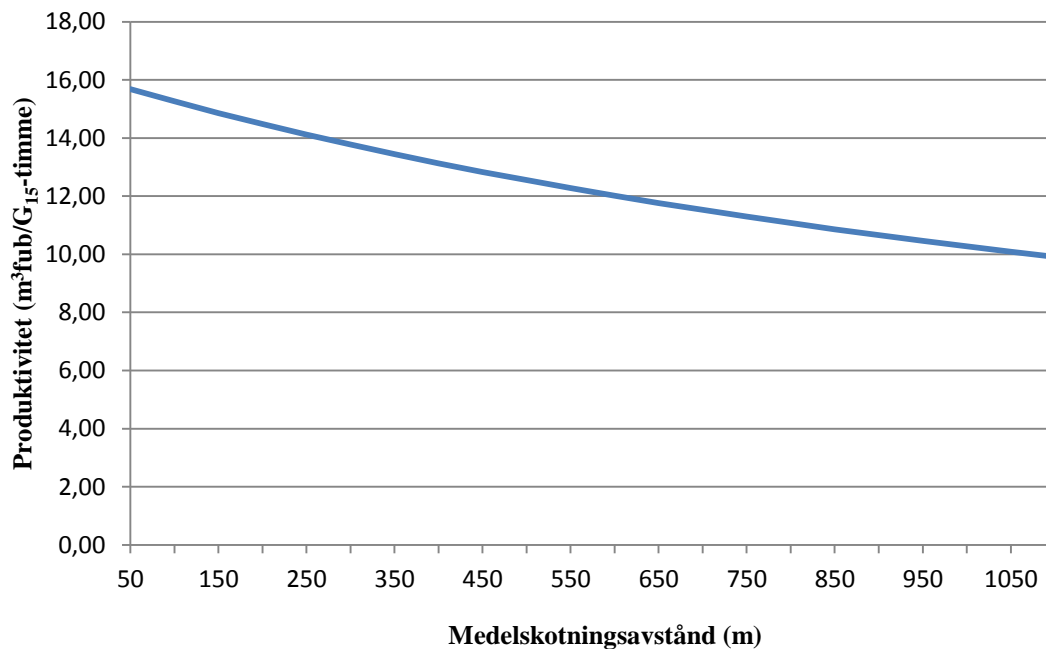
Skotare

Skotarens produktivitet som funktion av skördad medelstam visas i figur 5. En mycket svag positiv trend kan ses med ökad medelstam.



Figur 5. Produktivitet för skotare som en funktion av avverkad medelstam vid ett skotningsavstånd på 500 meter.
Figure 5. Productivity of forwarder as a function of harvested mean stem volume at a forwarding distance of 500 metres.

I figur 6 ses hur skotarens produktivitet påverkas av medelskotningsavstånd. Grafen visar en sjunkande produktivitet vid ökande skotningsavstånd. Exempelvis ger ett medelskotningsavstånd på 250 m en produktivitet på 14 m³fub medan produktiviteten är 11 m³fub om medelskotningsavståndet är 800 m.

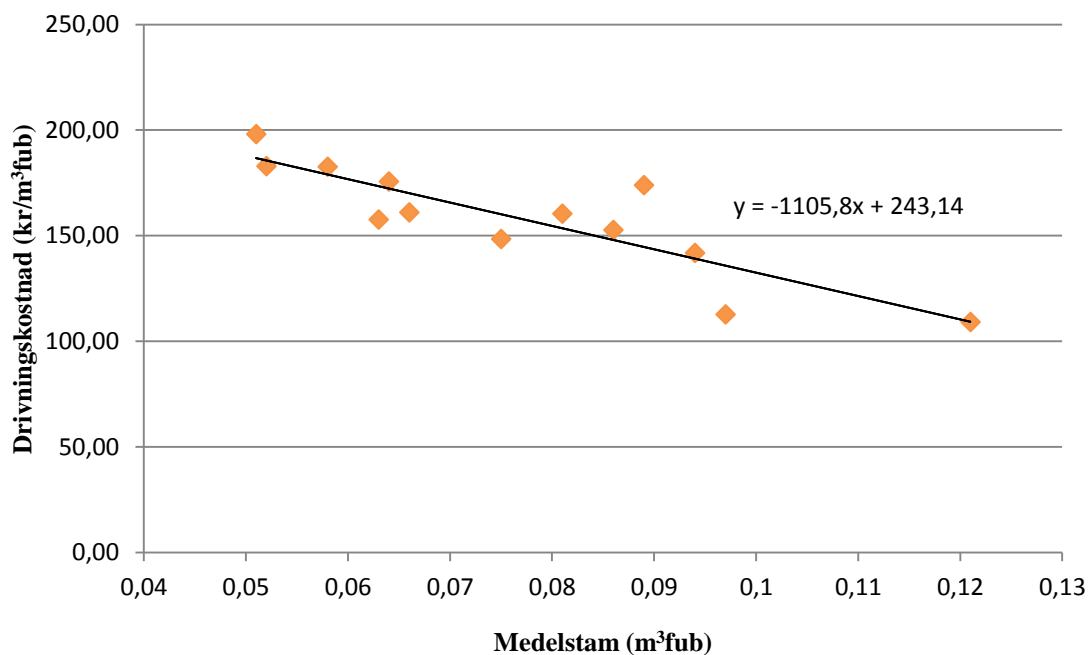


Figur 6. Medelskotningsavståndets påverkan på skotarens produktivitet vid en medelstam på 0,10 m³fub.

Figure 6. Effects of mean hauling distance on productivity of a forwarder with a mean stem volume of 0,10 (per m³ solid under bark).

Drivningskostnad

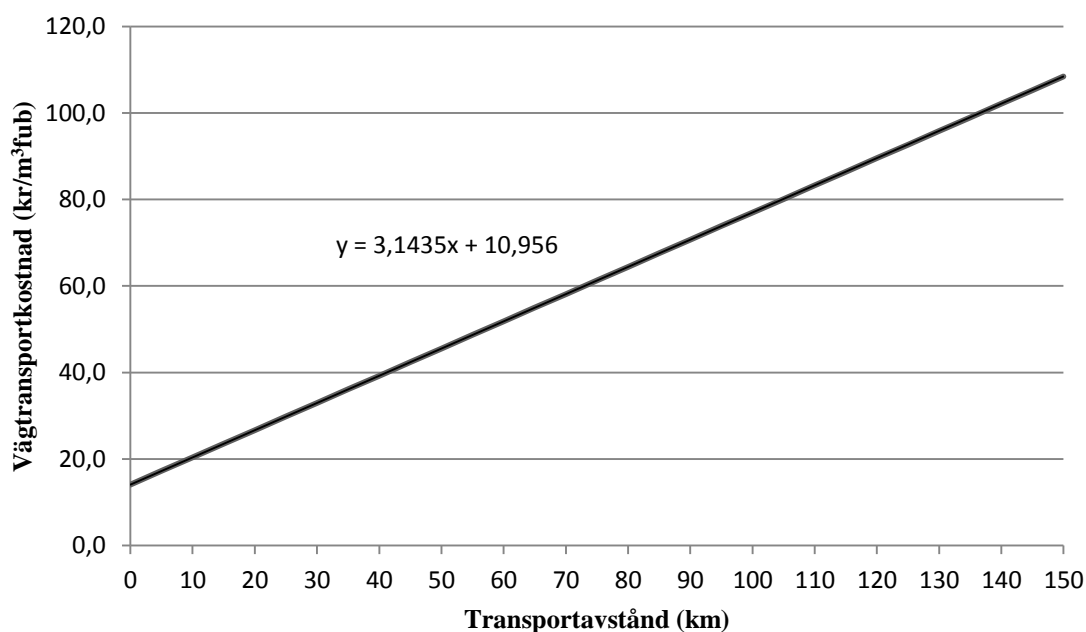
Figur 7 visar hur drivningskostnaden påverkas av skördad medelstam. Drivningskostnaden varierar mellan 109 och 198 kr/m³fub vid en medelstam på 0,12 respektive 0,05 m³fub. En tydlig negativ trend kan ses, där ökad medelstam överlag ger en lägre drivningskostnad.



Figur 7. Drivningskostnad som en funktion av avverkad medelstam.
Figure 7. Logging cost as a function of harvested mean stem volume.

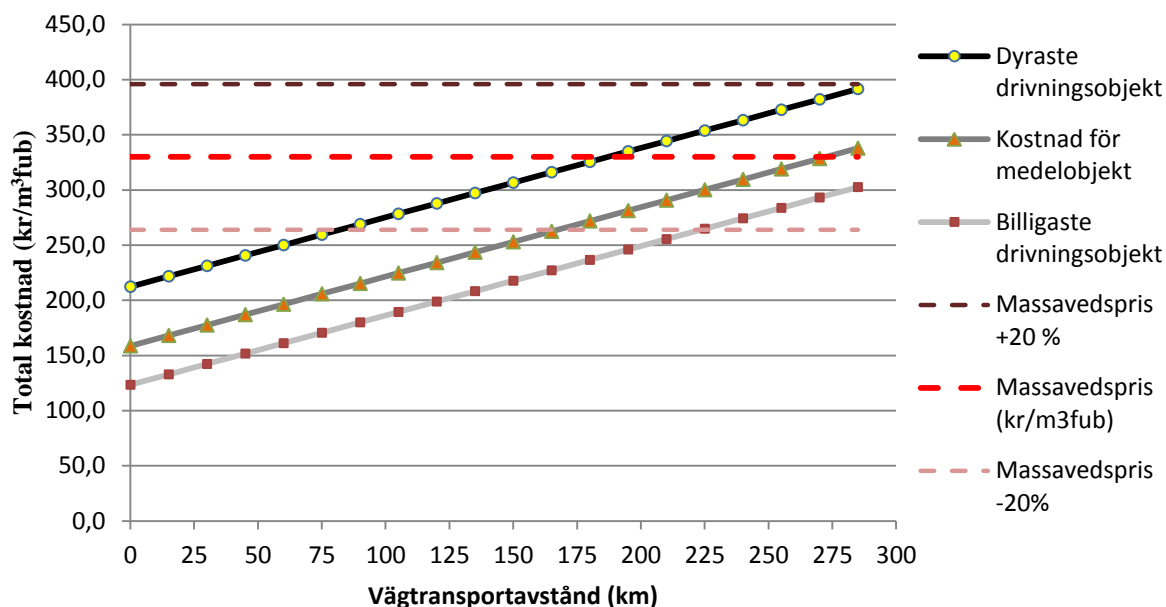
Vägtransport

Figur 8 visar hur vägtransportkostnaden ändras med transportavstånd. Kostnadsökningen är linjär där ett längre transportavstånd ger högre kostnader. En fast timkostnad samt kostnader för lastning och lossning ingår i beräkningen (14 kr/m³fub) och är oberoende av transportavstånd.



Figur 8. Vägtransportkostnad som en funktion av transportavstånd.
Figure 8. Transport costs on road as a function of transport distance.

I figur 9 visas hur den totala kostnaden för olika objekt påverkas av vägtransportavstånd. Ett massavedspris på 330 kr/m³fub innebär att lönsamhet kan nås på ett avstånd av högst 27,5 mil för medelobjektet. Det dyraste objektet har en gräns vid ca 19 mil, medan det billigaste objektet fortfarande är lönsamt att transportera längre än 27 mil.



Figur 9. Vägtransportavståndets påverkan på totalkostnaden per m³fub för medelvärdesobjektet samt det billigaste och dyraste objektet. Kostnaden vid ett vägtransportavstånd på 0 km avser drivningskostnad samt lastningskostnad.

Figure 9. Effects of transport distance on the total costs (per m³ solid under bark) for the average object as well as the cheapest and most expensive object. The cost at a transport distance of 0 km includes logging costs and loading costs.

Diskussion

Ett delsyfte med studien var att undersöka hur skördarens produktivitet påverkas av faktorerna skördad medelstam och flerträdshantering vid uttag av massaved från klena gallringar. Vi hade gärna sett att produktiviteten skulle kunna förklaras av de båda faktorerna tillsammans, men vi fann att andelen flerträdshantering till stor del beror på medelstammens storlek. Därmed var vi tvungna att dela upp medelstam och andel flerträdshantering, för att var för sig förklara produktiviteten. Medelstammen förklarar produktiviteten i hög grad vilket var väntat, och i resultatet kan man också se att en hög korrelation finns. Ökad produktivitet vid större medelstam stöds också av andra studier (Lageson, 1996). Likaså är nivån på produktivitet med flerträdshanterande aggregat överensstämmande med annan forskning (Bergkvist, 2007; Jansson, 2011). Figur 2 visar att andelen flerträdshantering är större i klena gallringar med låg medelstam, vilket också stöds av andra studier som visar på ökad potential för flerträdshantering vid lägre trädvolym (Iwarsson Wide, 2009; Jansson, 2011). Vid analysen av hur andelen flerträdshantering påverkar produktiviteten valde vi att dela upp datat i två olika kategorier, skilt av medelstam. Resultatet visar att högre andel flerträdshantering sänker produktiviteten vid låg medelstam medan det omvända gäller vid grövre medelstam. Detta var högst oväntat men vid närmare undersökning fann vi att orsaken kan vara skördaraggregatets storlek. Log Max 5000D är ett allroundaggregat för såväl klen gallring som slutavverkning. Dess högsta produktivitet nås vid en rotsnittsdiаметer över 13 cm medan gallringsaggregatet Log Max 4000B har högst produktivitet redan från 10 cm (Log Max, 2012). Det är därför troligt att det studerade aggregatets storlek gör flerträdshantering mindre lämpligt vid lägre medelstamsvolym. Det är också värt att påpeka att datamaterialet endast innehöll 14 objekt, varav endast 13 av dessa kunde användas för att analysera flerträdshanteringens påverkan inom våra valda intervall. I vår studie antar vi att de flerträdshanterade stammarna säljs som massaved, dock vet vi att flerträdshanterade stammar även levereras till Skellefteå Krafts bioenergianläggning i Storuman. Detta sortiment tillåter lägre toppdiameter och sämre kvistning vilket kan öka potentialen för flerträdshantering. Sortimentet ger mindre betalt och tas därför endast ut på Sveaskogs marker.

I figur 4 visas att andelen kubb inte påverkas nämnvärt av andelen flerträdshantering. Det finns dock en svag indikation om ett positivt samband där andelen uttagen kubb stiger med ökad andel flerträdshantering. Före analysen trodde vi att resultatet skulle vara precis tvärtom, då vi antog att kubb inte lämpade sig för flerträdshantering eftersom det är ett timmersortiment. Vilka bestånd som är lämpliga för uttag av kubb bestäms förmodligen inte av potentialen för flerträdshantering utan istället kanske av medelstam och friskkvistighet i beståndet. Mer forskning behövs för att bekräfta våra teorier.

I resultatet finns regressionsanalyser för undersökningar där grunden utgörs av produktionsdata. Det faktum att antalet objekt var lågt gjorde resultaten något osäkra. När det gäller flerträdshanteringens påverkan på produktivitet och andel kubb blev analyserna särskilt lidande av antalet objekt. Följden blev låga förklaringsgrader för modellerna samt att det blev svårt att utvärdera om grundläggande antaganden var uppfyllda för de individuella avvikelserna. Trots osäkra modeller vill vi ändå se resultaten som en indikation om ett samband. Om vi hade haft tillgång till fler objekt hade vi förhoppningsvis kunnat utvärdera hur flerträdshantering påverkat produktionen på ett bättre sätt.

Vid beräkning av produktivitet för skotare blev det uppenbart att medelstammen har liten påverkan medan skotningsavståndets inverkan är mer signifikant. Skotarens produktivitet

sjunker med ca 30 % vid ett ökat skotningsavstånd från 100 m till 1100 m. Därför bör man vid längre skotningsavstånd undersöka om det är mer lönsamt att bygga skogsbilväg istället. Resultaten av produktionsberäkningen kan betraktas som tillförlitliga då de bygger på Brunbergs produktionsnorm (2004), som i sin tur bygger på gamla produktionsnormer, driftsuppföljning och tidsstudier.

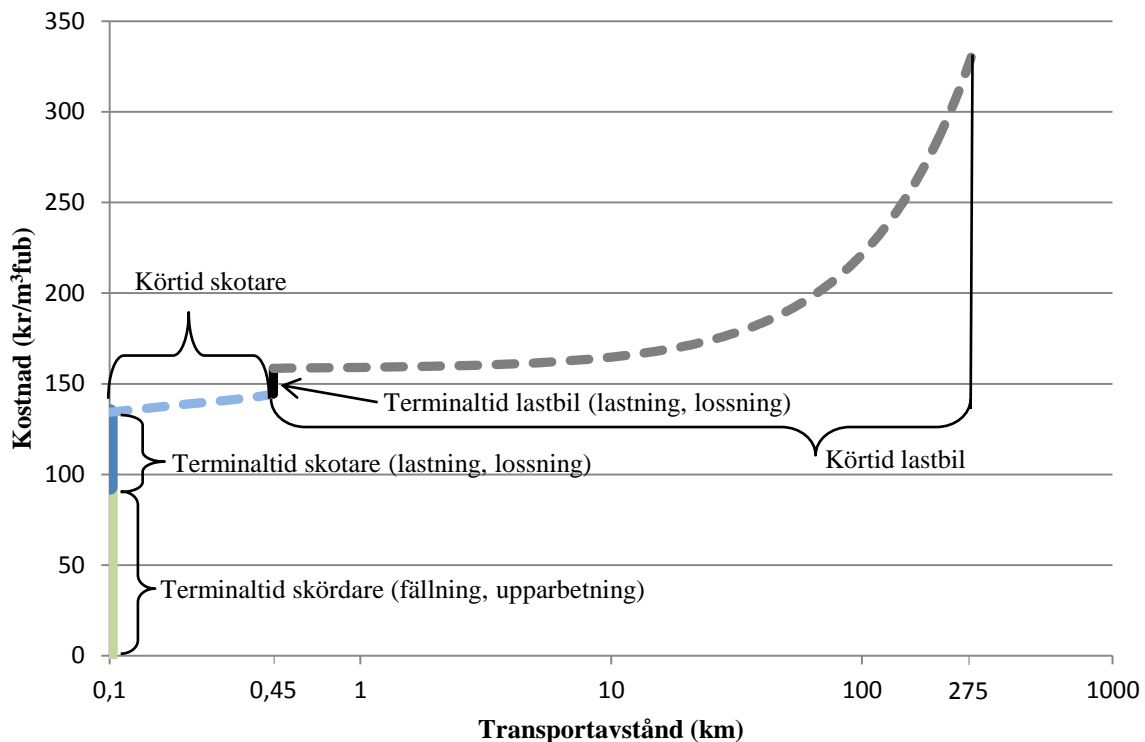
För drivningskostnaden ses en tydlig korrelation mellan lägre drivningskostnad och ökad medelstam. Vi finner detta väntat eftersom en högre medelstam innebär högre produktivitet för skördaren enligt våra tidigare resultat. Samtidigt påverkas även skotarens produktivitet positivt vid ökad medelstam, dock är skotningsavstånd mer avgörande. Drivningskostnaden bland våra objekt varierar mellan 109 och 198 kr/m³fub. Kostnaden är högst vid en medelstam på ca 0,05 m³fub. Denna kostnad är något högre än vad Di Fulvios et al. (2011) studie visade. I deras studie var medelstammen 0,025 m³fub och både biobränsle och massaved skördades. Vår studies högre kostnad kan hänföras till längre skotningsavstånd och differenser i maskinkostnadskalkylerna. Därtill användes i vår studie ett större maskinsystem med högre fasta kostnader, vars kapacitet kanske inte kunde utnyttjas till fullo vid klenare medelstammar.

Vid adderad vägtransportkostnad inser man snabbt den stora betydelsen av hög produktivitet om avståndet till industri är stort. En hög drivningskostnad kommer endast att tillåta ett kort vägtransportavstånd innan lönsamheten övergår till en kostnad, vilket blir tydligt i figur 9. Det blir också påtagligt hur stor inverkan massavedspriset har på lönsamheten. En minskning av massavedspriset med 20 % kan innebära att längsta lönsamma vägtransportavstånd kan minska med över 50 %, något som i sin tur kan minska industrins upptagningsområde till en fjärdedel. Dessa svängningar kan medföra stora konsekvenser för såväl skogsägare som entreprenörer och industri. I figur 9 kan man också se att skillnaden mellan det dyraste och billigaste objektet är stor. Detta påverkar i sin tur längsta lönsamma transportavstånd som skiljer sig med mer än tio mil mellan de båda objekten.

För att lättare få en uppfattning om vilka kostnadsposter som har störst påverkan vid beräkningarna av total kostnad vid drivning och transport, utformade vi figur 10 inspirerad av Belbo (2011). Data som använts för figuren utgör medelvärden från objekten i tabell 6, samt medelskotningsavståndet för objekten på 450 meter. I grafen visas de olika kostnadsposterna för respektive maskin, där olika moment är separerade i terminaltid eller körtid. Skördarens arbetsmoment utgörs endast av stationärt arbete och innefattar ingen transportberoende kostnad. Skotarens tid är uppdelad i terminaltid där lastning, lossning och sortimentshantering sker, samt körtid. För lastbilen är tiden uppdelad i terminaltid som innefattar lastning och lossning, samt körtid till och från industri. Skalan för transportavstånd löper till 27,5 mil vilket är gränsen för lönsamhet hos medelobjektet vid ett massavedspris på 330 kr/m³fub, enligt figur 9.

Vid förstagallring är generellt medelstammen låg varför den största kostnaden vid gallring oftast hamnar hos skördaren. I figur 10 ses tydligt att så också är fallet vid vårt arbete. Vi finner detta logiskt p.g.a. att skördarens produktivitet är starkt korrelerad med medelstam. Skotarens produktivitet är å andra sidan mindre påverkad av medelstam vilket visas i figur 5. Något som kan påverka skotningskostnaden är skotningsavstånd men som kan ses av figur 10 är detta en mindre del av skotningskostnaden i gallring. Vid slutavverkning där grövre medelstam ger högre skördarproduktivitet, förblir skotarens produktivitet i det närmaste densamma. Det blir därför viktigt att hålla nere skotningsavståndet för att på så sätt öka produktiviteten. Lastbilstransporten utgör en liten del av den totala kostnaden vid korta

avstånd eftersom dess terminalkostnad är låg. Vid längre avstånd kan dock lastbilskostnaden utgöra den dominerande kostnaden och ha stark inverkan på gallringens lönsamhet.



Figur 10. Olika kostnadsposter från skog till industri med principiella skillnader mellan terminaltid och körtid. (X-axeln har en logaritmisk skala).

Figure 10. Different costs from forest to industry with principle differences between terminal time and transport time. (The X-axis has a logarithmic scale).

Denna studie bygger delvis på verklig produktionsdata vilket gör resultaten för skördaren relativt tillförlitliga. Därtill är studien utförd av samma maskinlag inom ett mindre område med någorlunda homogena abiotiska förutsättningar. Nackdelar är dock att de olika bestånden kan skilja sig något när det gäller ålder, stamantal, GYL o.s.v. vilket sammantaget kan leda till osäkerheter i analysen. Antalet observerade objekt är få, vi hade gärna önskat att ha tillgång till fler för säkrare analyser. Avverkningstidpunkten varierar dessutom över året, något som i hög grad kan påverka maskinernas produktivitet. Det är negativt att vi inte fick tillgång till skotardata vilket innebär att vi fick förlita oss till produktionsnormen. Data om tider på lastning och lossning för timmerlastbilen hade också underlättat.

Maskinkostnadskalkylerna som ligger till grund för hela kostnadsanalysen har delvis antagna värden vilket gör kostnaden osäker. Kalkylerna är dessutom förenklade där vi t.ex. inte räknat med vinstmarginaler eller flyttkostnader för skördare och skotare. Timkostnaderna kan därför i realiteten bli dyrare och därmed påverka det längsta lönsamma transportavståndet.

Totalt sett omfattar analysen kostnader från skog till industri vilket är något som sällan utförs i svenska studier och kan underlätta jämförandet av olika kostnadsposter. Faktumet att studien är inriktad på flerträdshanterad massaved gör studien aktuell då många andra studier om flerträdshantering endast fokuserat på biobränsleuttag.

Arbetet kan användas för att överskådligt jämföra olika kostnadsposter i kedjan från skog till industri. Därtill ges möjlighet att undersöka bakomliggande faktorer som påverkar

drivningskostnaden och därmed genomföra riktad teknisk utveckling för att minska specifika kostnader. Behov finns att undersöka drivnings- och avverkningskostnader mer omfattande, med reella data från skotare och lastbil. Eftersom konfliktbestånd utgör en betydande del av den svenska skogsmarksarealen är det viktigt med fortsatta studier på flerträdshantering och dess inverkan på såväl produktivitet som massavedens kvalitet. I synnerhet blir det viktigt om fler avtal sluts liknande det mellan Sveaskog och Smurfit Kappa.

Slutsatser

- Skördarens produktivitet påverkas positivt av ökad medelstam och högre andel flerträdshantering. Dock ställs krav på att ett skördaraggregat används som är anpassat till rådande medelstam.
- Skotarens produktivitet påverkas främst av skotningsavstånd.
- Drivningskostnaden är starkt korrelerad till skördad medelstam medan vägtransportkostnaden främst påverkas av transportavstånd.
- Uttag av kubb har ett svagt samband med flerträdshantering. Mest troligt är det andra faktorer som påverkar än de som undersökts i detta arbete.
- Längsta lönsamma avstånd för massaved påverkas till stor del av drivningskostnad, men transportavståndet med lastbil är avgörande för lönsamheten. Längsta avstånd kan dock variera stort med endast marginella förändringar i prissättning av sortimentet, varför avtalet mellan råvaruleverantör och industri är viktigt.

Tillkännagivanden

Vi vill rikta ett stort tack till Ulf Jonsson som är produktionstekniker på Sveaskog i Malå. Han har tillhandhållit data från bestånd och maskinlag och varit mycket behjälplig när frågor uppstått. Vi vill även tacka vår handledare Dan Bergström som lagt ner mycket tid på att hjälpa oss med arbetet och kommit med synpunkter och förslag.

Referenser

- Agestam, E. 2009. *Gallring*. Skogsstyrelsen, Jönköping. Skogsskötselserien.
- Andersson, R. 2011. *Productivity of integrated harvesting of pulpwood and energy wood in first commercial thinnings*. Inst. f. skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 308.
- Anon. 1994. *Skogsordlista*. Sveriges skogsvårdsförbund och Tekniska Nomenklaturcentralen, Solna.
- Anon. 2011a. *Skogsdata 2011*. SLU, Umeå.
- Anon. 2011b. Kunskap Direkt. Skogscyklopedin [Online] Tillgänglig <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/u/Skogscyklopedin/> [2012-04-02]
- Belbo, H. 2011. *Efficiency of accumulating felling heads and harvesting heads in mechanized thinning of small diameter trees*. Doktorsavhandling, Linnaeus University. nr 66/2011.
- Bergkvist, I. 2003. *Flerträdshantering höjer prestationen och ökar nettot i klen gallring*. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 5.
- Bergkvist, I. 2007. *Flerträdshantering i granbestånd*. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 637.
- Bergström, D., Bergsten, U., Nordfjell, T. & Lundmark, T. 2007. Simulation of geometric thinning systems and their time requirements for young forests. *Silva Fennica*, 41(1), 137-147.
- Brunberg, B., Nordén, B. & Svenson, G. 1989. *Flerträdshanterande engreppsskördare kan sänka kostnaderna*. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kista. Resultat nr 18.
- Brunberg, B., Hedenberg, Ö. & Jonsson, T. 1990. *Flerträdsteknik – effekter på avverkningskostnader och massaindustrins råvara*. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kista. Redogörelse nr 4.
- Brunberg, T. 2004. *Underlag till produktionsnormer för skotare*. Skogforsk, Uppsala. Redogörelse nr 3.
- Brunberg, T. 2006. *Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare 2006*. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 22.
- Brunberg, T. & Lundström, H. 2010. *Rätt maskinval i gallring – studie vid SCA Skog*. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 6.
- Brunberg, T. & Lundström, H. 2011. *Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010*. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport nr 737.

Di Fulvio, F., Bergström, D. & Nordfjell, T. 2011. *Skörd av skogsbränsle och/eller massaved i förstagallringar, vägkanter och på igenväxt åkermark*. Inst. f. skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 343.

Egnell, G. 2009. *Skogsbränsle*. Skogsstyrelsen, Jönköping. Skogsskötselserien.

Fjeld, D. & Dahlin B. 2005. *Nordic logistics handbook*. SLU, Umeå & Helsinki University, Helsingfors.

Gille, S.E. 2010. Kalkylmodell för lastbilstransporter. Undervisningsunderlag, opublicerad.

Gingras, J.-F. 2004. Early studies of multi-tree handling in eastern Canada. *International Journal of Forest Engineering* 15 (2), 18-22.

Iwarsson, Wide M. 2009. *Flerträdshantering och matarhjul ger effektiv avverkning i klen skog*. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 14.

Jansson, E. 2011. *Prestationspåverkan av flerträdshantering i klena gallringar*. Examensarbete i skogshushållning, SLU, Skinnskatteberg.

Kempe, G. 2002. Ungskogar. I Ståhl, G (utg.). *Skogsdata 2002* (sid.6-9). SLU, Umeå.

Kärhä, K., Rönkkö, E. & Gumse, S.-I. 2004. Productivity and cutting costs of thinning harvesters. *International Journal of Forest Engineering* 15 (2), 43-56.

Lageson, H. 1996. *Thinning from below or above*. Doktorsavhandling. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, nr 14/1996.

Log Max. 2012. Produkter [Online] Tillgänglig <http://www.logmax.se/produkter> [2012-03-28]

Nordfjell, T. 2006. *Kalkylmodell för skogsmaskiner*. Inst. f. skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Stencil.

Olsson, S. 2004. *Behandling av konfliktbestånd – problem och möjligheter*. Examensarbete nr 60 Inst. f. sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp.

Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. 2007. *Röjning*. Skogsstyrelsen, Jönköping. Skogsskötselserien.

Skogforsk. 2012. Kunskap direkt, virkesförråd [Online] Tillgänglig <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Alla-Verktyg/Virkesforrad-Ny/> [2012-03-22]

Sveaskog. 2012. *Virkesprislista, nr 125AC inlandet*, Piteå.

Sveaskog. 2012. *Årsredovisning 2011*. Stockholm.

Muntliga referenser

Andersson, Tommy. Säljare, Ecolog (2012-03-09). Personlig kommunikation.

Jonsson, Ulf. Produktionstekniker, Sveaskog (2012-03-13). Personlig kommunikation.

Wikström, Lars. Säljare, Bil & Traktor Tunga Fordon Piteå (2012-03-15). Personlig kommunikation.

Bilagor

Bilaga 1

Kostnadskalkylering avseende skogsmaskiner

A) Kalkylering för ett oändligt stort bestånd och en maskin

- | | | |
|-----|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| (1) | $D_k = T_k/P$ | $D_k =$ Drivningskostnad för aktuell maskin
(kr/m ³ fub) |
| | | $P =$ Produktivitet (m ³ fub/tim) |
| (2) | $T_k = F_k + R_k$ | $T_k =$ Total kostnad (kr/tim) |
| | | $F_k =$ Fast kostnad (kr/tim) |
| | | $R_k =$ Rörlig kostnad (kr/tim) |
| (3) | $F_k = (K + U_f)/S$ | $K =$ Kapitalkostnad (kr/år) |
| | | $U_f =$ Fast underhållskostnad (kr/år) |
| | | $S =$ Systemtid (tim/år) |
| (4) | $R_k = U_r + D_m + F_l$ | $U_r =$ Rörlig underhållskostnad (kr/tim) |
| | | $D_m =$ Drivmedelskostnad (kr/tim) |
| | | $F_l =$ Förarlön (kr/tim) |
| (5) | $K = (I - R_n) \times A$ | $I =$ Investeringsbelopp (kr) |
| | | $R_n =$ Restvärdets nuvärde (kr) |
| (6) | $R_n = R \times (1+i)^{-n}$ | $A =$ Amorteringsfaktor (Annuitetsfaktor) |
| | | $R =$ Restvärde (kr) |
| | | $i =$ Kalkylränta (%/100) |
| (7) | $A = (i \times (1+i)^n) / ((1+i)^n - 1)$ | $n =$ Ekonomisk livslängd (år) |

B) När fler än en maskin används för avverkning och terrängtransport (skördare+skotare)

- (8) $D_{ktot} = \sum D_k$ (för alla inblandade maskiner) $D_{ktot} =$ Total drivningskostnad
(kr/m³fub)

Bilaga 2

Kostnads kalkylering avseende timmerlastbil

A) Fasta kostnader

Räntekostnad kr/år = $r \left(\frac{\text{investering} - \text{restvärde}}{2} + \text{restvärde} \right)$

$r = \text{kalkylränta, \%}$

Fast kostnad/timme = $\text{Summa fasta kostnader} / \text{systemtid (timmar)}$

B) Rörliga kostnader

Avskrivning = $(\text{investering} - \text{restvärde}) / \text{livslängd}$

För lastbil och släp anges livslängden i kilometer och för kranen i antal lass. Kostnaden för avskrivning anges därför i kr/km respektive kr/lass.

C) Total kostnad per tripp för lastbil

Total kostnad per tripp = $\text{kostnad per lastning} + (\text{kostnad per timme} * (\text{antal timmar})) + (\text{kostnad per km} * (\text{antal km}))$

D) Kostnad/ $\text{m}^3 \text{fub} = (\text{Kostnad per tripp}) / L$

$L = \text{laststorleken i } \text{m}^3 \text{fub}$

Bilaga 3

Produktionsnorm för skotare

A) Beräkning av terminaltid vid gallring

$$T_1 = K1 * ((-43 + K2 * UT + 25,9 * \sqrt{UT}) / UT)$$

T_x = tidsåtgången i G_{15} -min/ m^3 fub

UT = uttaget i m^3 fub/ha

K1 = 1 (konstant)

K2 = 0,67 (för medelstor skotare i gallring)

B) Beräkning av körhastighet

$$H = 75 - 8,2 * YT - 1,4 * LUT^2$$

H = hastigheten i m/G_{15} -min

YT och LUT = ytstruktur och lutning

C) Beräkning av tidsåtgång för körning

$$T_2 = (2 * A) / (H * L)$$

A = enkelt terrängtransportavstånd, m

L = laststorleken i m^3 fub

D) Beräkning av sortimentstid

$$T_3 = 0,05 - V$$

V = medelstamsvolym i m^3 fub

E) Beräkning av tidsåtgång för sortering

$$T_4 = -0,1 + (0,1 * AS)$$

AS = antal sortiment, st

För beräkning av total tidsåtgång per m^3 fub summeras alla värden på T_x för respektive moment.

F) Beräkning av produktivitet

$$P = 60 / \sum(T)$$

P = produktivitet i m^3 fub/ G_{15} -timme

Bilaga 4

Linjär regressionsanalys

Tabellerna som visas nedan har tagits fram med Minitabs funktion för regression. Grafer visas också för residualerna i varje ekvation. I samtliga regressionsanalyser användes ett konfidensintervall på 95 %.

Tabell 7. Produktivitet ($\text{m}^3\text{fub}/G_{15}\text{-timme}$) mot medelstam (m^3fub)

Table 7. Productivity (m^3 solid under bark/ $G_{15}\text{-hour}$) versus mean stem volume (m^3 solid under bark)

Regression Analysis: Produktivitet (G_{15}) versus Medelstam (m^3fub)

The regression equation is

$$\text{Produktivitet } (G_{15}) = 1,65 + 82,4 \text{ Medelstam } (\text{m}^3\text{fub})$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,654	1,028	1,61	0,134
Medelstam (m^3fub)	82,43	12,96	6,36	0,000

S = 0,919857 R-Sq = 77,1% R-Sq(adj) = 75,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	34,203	34,203	40,42	0,000
Residual Error	12	10,154	0,846		
Total	13	44,356			

Unusual Observations

Obs	Medelstam (m^3fub)	Produktivitet (G_{15})	Ft	SE Fit	Residual	St Resid
14	0,121	11,675	11,627	0,621	0,048	0,07 X

X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

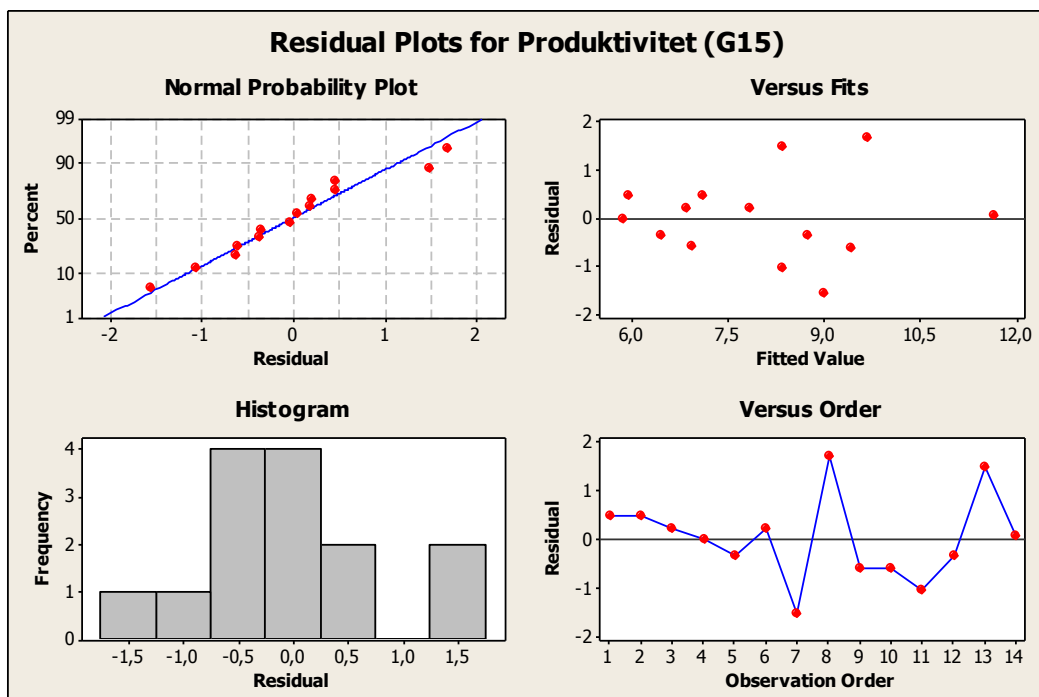


Figure 11. Modellen är relativt normalfördelad och variansen är inte konstant (N=14).

Figure 11. The model is relatively normal distributed and the variance is not constant.

Tabell 8. Andel flerträdshantering mot medelstam (m³fub)

Table 8. Proportion of multi-tree handling versus mean stem volume (m³ solid under bark)

Regression Analysis: Andel flerträdshantering versus Medelstam (m³fub)

The regression equation is

$$\text{Andel flerträdshantering} = 0,579 - 4,47 \text{ Medelstam (m}^3\text{fub)}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,5787	0,1068	5,42	0,000
Medelstam (m ³ fub)	-4,471	1,347	-3,32	0,006

S = 0,0955919 R-Sq = 47,9% R-Sq(adj) = 43,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,10064	0,1006	11,01	0,006
Residual Error	12	0,10965	0,0091		
Total	13	0,21029			

Unusual Observations

Obs	Medelstam (m ³ fub)	Andel flerträdshantering	Ft	SE Fit	Residual	St Resid
14	0,121	0,079	0,0377	0,0646	0,0413	0,59 X

X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

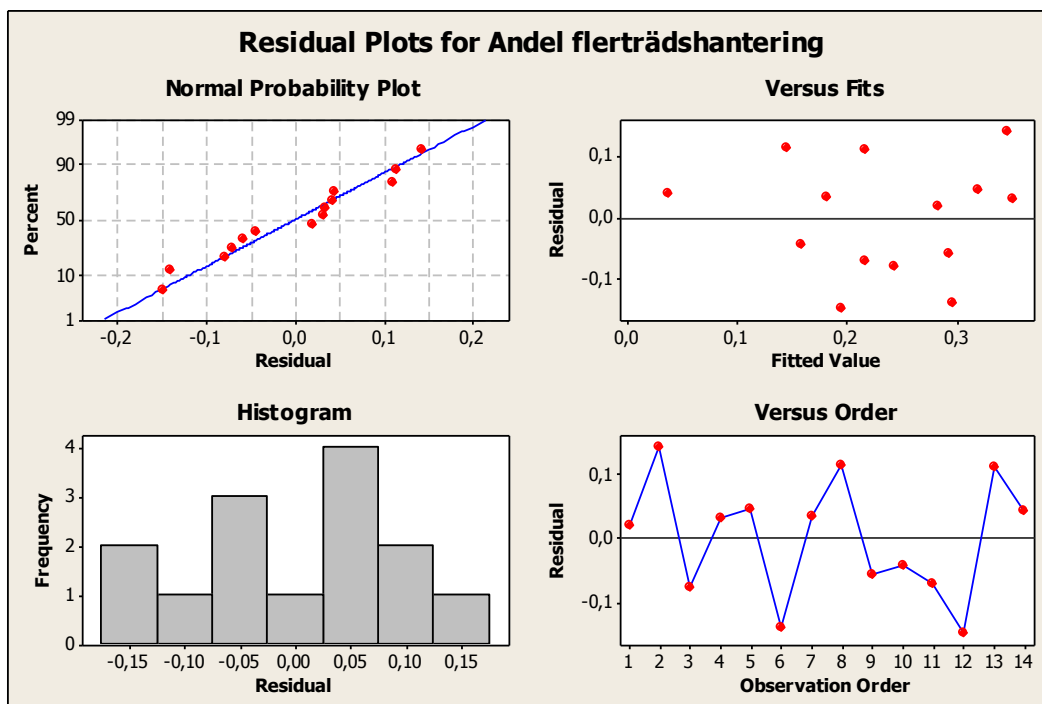


Figure 12. Modellen är relativt normalfördelad samtidigt som variansen är ganska konstant (N=14).

Figure 12. The model is relatively normal distributed and the variance is quite constant.

Tabell 9. Produktivitet (m^3 fub/ G_{15} -timme) mot andelen flerträdshantering vid en medelstam på 0,05-0,07 m^3 fub

Table 9. Productivity (m^3 solid under bark/ G_{15} -hour) versus the proportion of multi-tree handling at a mean stem volume of 0,05-0,07 (m^3 solid under bark)

**Regression Analysis: Produktivitet (G_{15} , medelstam 0,05-0,07 m^3 fub)
versus Andel flerträdshantering**

The regression equation is

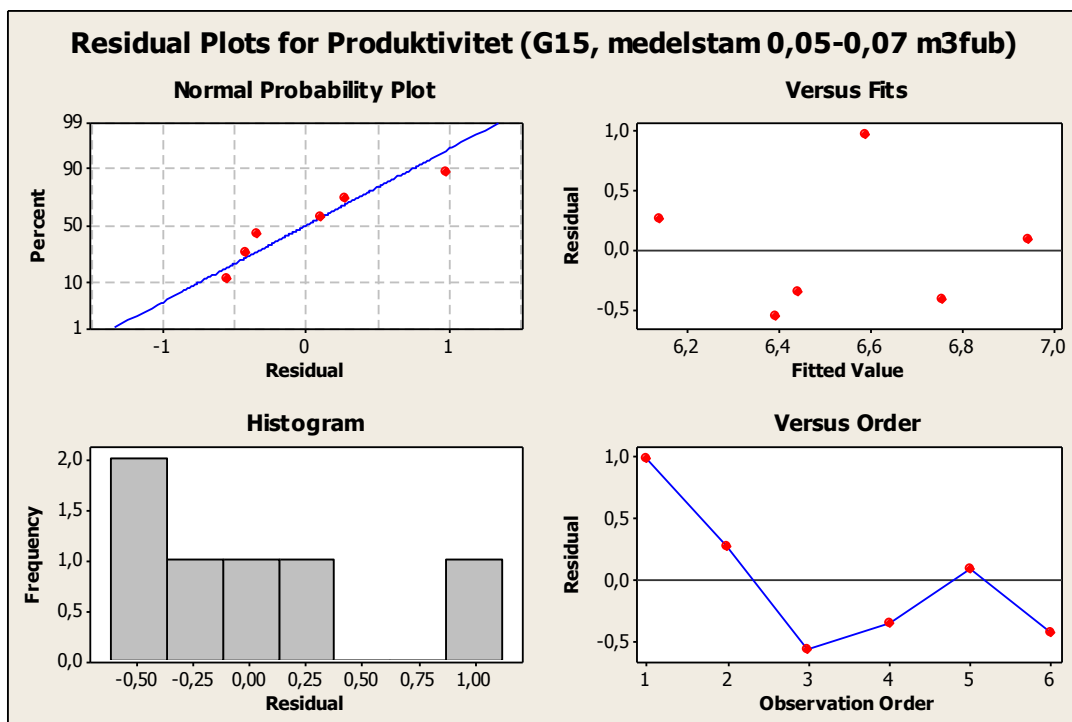
$$\text{Produktivitet (} G_{15}, \text{ medelstam } 0,05\text{-}0,07 \text{ m}^3\text{fub)} = 7,33 - 2,44 \text{ Andel flerträdshantering}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,3314	0,8394	8,73	0,001
Andel flerträdshantering	-2,444	2,476	-0,99	0,380

S = 0,646404 R-Sq = 19,6% R-Sq(adj) = 0,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,4070	0,4070	0,97	0,380
Residual Error	4	1,6714	0,4178		
Total	5	2,0784			



Figur 13. Modellen är inte normalfördelad och variansen är inte konstant (N=6).

Figure 13. The model is not normally distributed and the variance is not constant.

Tabell 10. Produktivitet (m^3 fub/ G_{15} -timme) mot andelen flerträdshantering vid en medelstam på 0,07-0,10 m^3 fub

Table 10. Productivity (m^3 solid under bark/ G_{15} -hour) versus the proportion of multi-tree handling at a mean stem volume of 0,07-0,10 m^3 solid under bark)

**Regression Analysis: Produktivitet (G_{15} , medelstam 0,07-0,10 m^3 fub)
versus Andel flerträdshantering**

The regression equation is

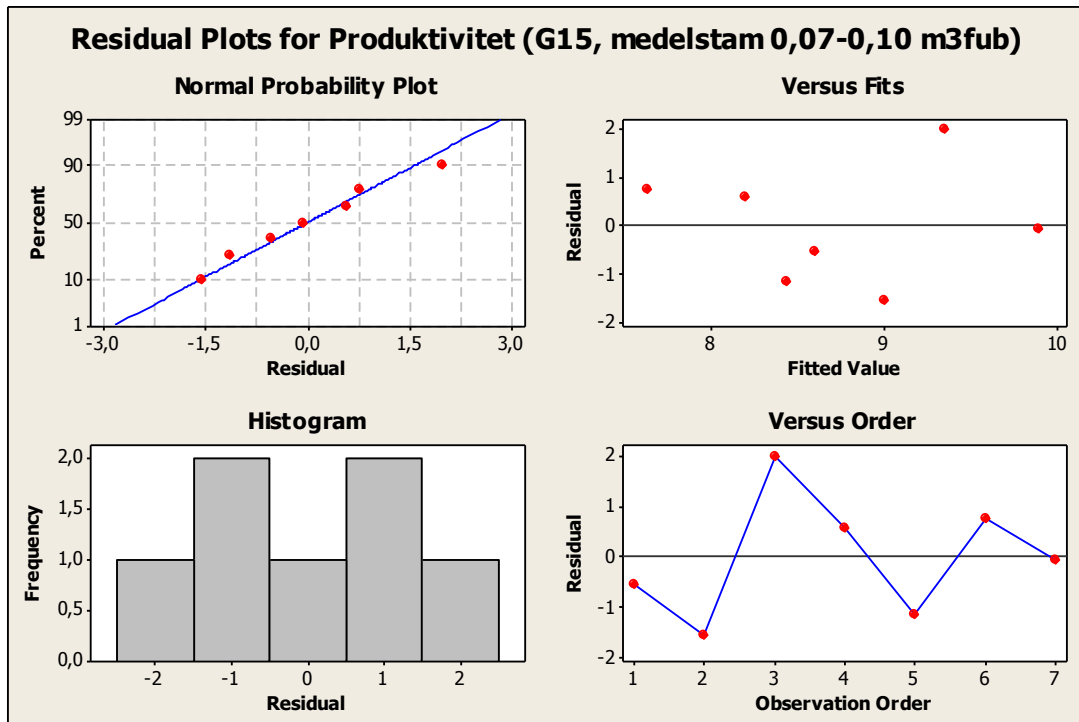
$$\text{Produktivitet (} G_{15}, \text{ medelstam 0,07-0,10 } m^3 \text{ fub)} = 7,26 + 8,07 \text{ Andel flerträdshantering}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,258	1,175	6,18	0,002
Andel flerträdshantering	8,071	5,835	1,38	0,225

S = 1,33931 R-Sq = 27,7% R-Sq(adj) = 13,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3,432	3,432	1,91	0,225
Residual Error	5	8,969	1,794		
Total	6	12,401			



Figur 14. Modellen är normalfördelad men variansen är stor (N=7).
Figure 14. The model is normally distributed but the variance is great.